

تخمین ECD در سیگنال لورن C با استفاده از روش گرادیان نزولی بر اساس کوچکترین مربعات خطا

سمیه نفر^۱، حسین خالقی بیزی^۲، احیا یوری^۳

۱ کارشناسی ارشد مخابرات رمز، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، nafar_elect812001@yahoo.ca

۲ دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۳ کارشناس ارشد مخابرات، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

چکیده

لورن C، یک سیستم مکان یابی بر اساس TDOA است. در گیرنده این سیستم، برای آشکار سازی پالس های لورن C، از سومین نقطه عبور از صفر استاندارد استفاده می شود. در عمل به دلیل وجود نویز و تداخل، محاسبه مکان این نقطه با خطا همراه است. یکی از پارامترهای مهم و اثر گذار در تشخیص سومین نقطه عبور از صفر استاندارد در پالس لورن C، مقدار تخمین زده شده برای ECD است. یکی از روش های موجود در تخمین ECD، روش پالس انتقالی USCG است که بر اساس کوچکترین مربعات خطای بین سیگنال دریافتی و سیگنال ایده آل طراحی شده است. عیب این الگوریتم این است که تخمین ECD در نهایت با استفاده از یک روش عددی به دست می آید که بسیار زمان بر است. در مقاله حاضر، دو تکنیک برای بهبود روش پالس انتقالی USCG پیشنهاد شده است. در روش اول اندازه گیری ECD به صورت تجربی به دست می آید. روش دوم، روش گرادیان نزولی است که به صورت هوشمندانه میزان پرش، در هر مرحله را محاسبه می کند. نتایج نشان می دهد که علی رغم این که روش تجربی دارای دقت کافی می باشد، اما به زمان زیادی برای انجام محاسبات نیاز دارد، در حالی که روش گرادیان نزولی، علاوه بر کاهش پیچیدگی محاسباتی، دقت بسیار خوبی در تخمین ECD دارد.

کلیدواژه

مکان یابی، تخمین، گرادیان، ECD.

مقدمه

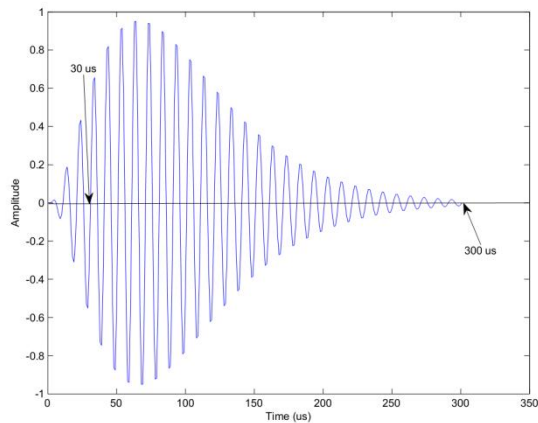
ECD^۲ پارامتری است که در ساختار شکل پالس لورن C مورد استفاده قرار می گیرد. این پارامتر مساوی با تفاوت بین انحنای نقطه لبه بالا رونده پالس و ششمین نقطه عبور از صفر پالس لورن است (شکل (۱)). در واقع ECD، یک رابطه زمانی (بر حسب میکرو ثانیه) بین موقعیت پوش پالس نسبت به موقعیت نقطه عبور از صفر است [۲]. تخمین دقیق این پارامتر، یکی از چالش های مهم در فرستنده و در گیرنده محسوب می شود. تاکنون روش های مختلفی از جمله روش HCPR^۳ [۳] و روش پالس انتقال USCG^۴ [۴]، برای تخمین ECD مورد استفاده قرار گرفته اند. روش HCPR بر اساس نسبت قله های ابتدای پالس (نسبت قله ها در سومین نقطه عبور از صفر استاندارد) عمل می کند. این قله ها، عمدتاً به دلیل وجود تداخل و نویز تضعیف می شوند [۵]، [۶] و به

لورن C، یکی از سیستم های ناوبری است که برای موقعیت یابی زمین پایه، مورد استفاده قرار می گیرد. این سیستم، شامل سه یا چهار ایستگاه است که اطلاعات مربوط به سمت و جهت حرکت و اطلاعات مربوط به فاصله و موقعیت ناوبر را معین می کند. ایستگاه ها در فاصله بیشتر از ۱۰۰۰ کیلومتری از همدیگر قرار دارند. این سیستم ها، بر اساس اختلاف زمانی (TDOA^۱) که بین یک پالس ایستگاه اصلی و پالس های ایستگاه ثانویه وجود دارد، کار می کند. در این گونه سیستم ها، تعیین دقیق زمان ورود سیگنال تاثیر زیادی در دقت تعیین موقعیت گیرنده دارد. پردازش سیگنال های لورن C در محیط های نویزی، در تعیین دقیق موقعیت بسیار تاثیر گذار است. پالس های لورن C همگی در فرکانس حامل ۱۰۰ کیلو هرتز طراحی شده اند [۱].

2 Envelope to Cycle Difference
3 Half Cycle Peak Ratio
4 United States Coast Guard

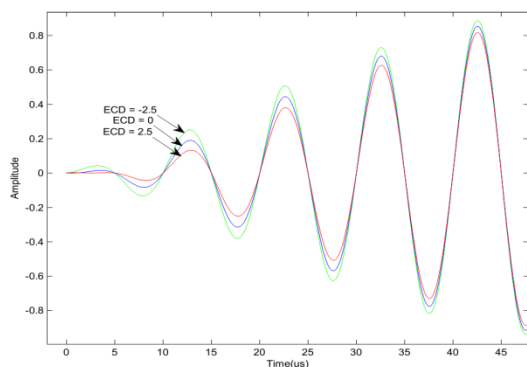
1 Time Delay Of Arrival

زمانی ها در سیستم موقعیت یاب لورن مورد استفاده قرار می گیرد. دلیل استفاده از سومین سیکل از پالس دریافتی این است که اولاً، سیکل اول ممکن به دلیل وجود نویز ضعیف تر از آنی باشد که اندازه گیری شود، ثانیاً، این قسمت از سیگنال قبل از تداخلات امواج آسمانی می رسد.



شکل ۱. پالس استاندارد مورد استفاده در سیگنال لورن C به ازای $ECD = 0$

مقدار ECD در فرستنده، مقدار محلی یا مقدار ECD انتقالی نامیده می شود که می تواند مقداری بین $+2.5$ تا -2.5 میکرو ثانیه داشته باشد و چون فاصله بین دو نقطه عبور از صفر در پالس لورن ایده آل ۵ میکرو ثانیه است، ECD بیشتر از ± 5 میکرو ثانیه باعث خطای نیم سیکل می شود. ECD مثبت، باعث می شود که پوش در محور زمان به سمت راست شیفت پیدا کند. ECD منفی، پوش را به سمت چپ شیفت می دهد (شکل ۲). ECD صفر در شرایطی است که پوش در نقطه $30 \mu s$ پالس لورن C، در سومین نقطه عبور از صفر استاندارد قرار گرفته باشد. اگر مقدار ECD دریافتی با مقدار ECD انتقالی آن متفاوت باشد، در این صورت تعیین مکان سومین نقطه عبور از صفر استاندارد با خطا همراه می شود و در نهایت محاسبه اختلاف زمانی ها را در سیستم لورن، دچار مشکل می کند.



شکل ۲. مقایسه پوش پالس لورن C به ازای $ECD = 0$ ، $ECD = 2.5$ و $ECD = -2.5$ میکرو ثانیه

همین علت تخمین با استفاده از این روش با خطا همراه است. روش پالس انتقالی USCG بر اساس کمینه شدن مربعات خطا طراحی شده است. این روش نسبت به روش HCPR دقت بیشتری دارد. اما عیب این روش این است که محاسبات بالایی داشته و بایستی با بکارگیری روش های عددی به جواب مورد نظر دست یافت.

در این مقاله دو روش برای کاهش محاسبات روش پالس انتقالی USCG طراحی و پیشنهاد شده است: در روش اول به دست آوردن مینیمم تابع مربعات خطا با استفاده از یک روش تجربی به دست می آید. این روش می تواند در کاهش محاسبات زمانی موثر باشد. روش دوم که بر اساس الگوریتم گرادپان نزولی طراحی شده است، از لحاظ سرعت محاسبات مناسب تر است. این روش، به صورت تکرار شونده انجام می شود و نیازمند یک مقدار اولیه می باشد و میزان پرش در هر مرحله به صورت هوشمندانه محاسبه می شود. ساختار مقاله به این صورت است که در بخش دوم، ضمن توصیف ساختار پالس لورن C، تعریف جامع تری برای ECD بیان می شود. در بخش سوم روش های متداول محاسبه ECD، مانند روش HCPR و روش پالس انتقالی USCG بررسی می شود و در ادامه در روش پالس انتقالی USCG، روش تجربی و روش گرادپان نزولی طراحی و پیشنهاد می شود و در پایان بخش سوم مقایسه ای از روش های موجود ارائه می گردد.

ECD در پالس لورن C

سیگنال لورن C از هشت یا نه پالس متوالی با فرکانس 100 kHz تشکیل می شود. دامنه جریانی هر یک از پالس های ارسالی در آنتن فرستنده با استفاده از رابطه (۱) بیان می گردد [۲]:

$$i(t) = A \left(\frac{t - \tau}{65} \right)^2 \exp \left[\frac{-2(t - \tau)}{65} \right] \sin(0.2\pi t + \varphi) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، A ثابتی برای نرمالیزه کردن دامنه جریان آنتن و بر حسب آمپر است. t، زمان بر حسب میکرو ثانیه است. τ اختلاف سیکل نسبت به پوش است که ECD نام دارد و بر حسب میکرو ثانیه است. φ پارامتر کد فاز بر حسب رادیان است که برای کد فاز مثبت برابر صفر و برای کد فاز منفی برابر π در نظر گرفته می شود.

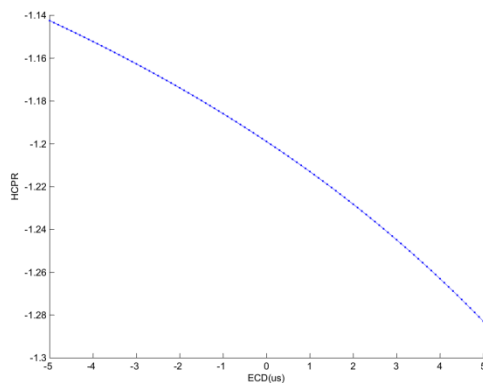
در شکل (۱)، یک پالس لورن استاندارد به ازای $\tau = 0$ نشان داده شده است. طول پالس لورن C، 300 میکرو ثانیه است که سومین نقطه عبور از صفر افزایشی آن را به عنوان سومین نقطه عبور از صفر استاندارد در نظر می گیرند. به ازای $\tau = 0$ ، این نقطه، در فاصله 30 میکرو ثانیه ای نسبت به نقطه شروع پالس قرار می گیرد. این نقطه، به عنوان یک نقطه مرجع برای محاسبه اختلاف

$$\hat{t} = 30\mu\text{s} - \frac{2.5(A+1)}{A-1} \quad (4)$$

به طوری که مقدار A برابر است با:

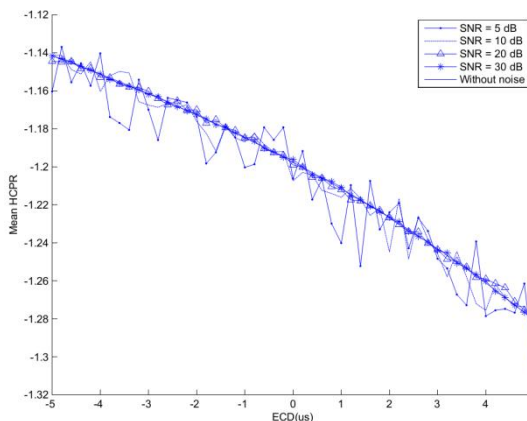
$$A = (\sqrt{h_{30}}) \exp\left(\frac{5}{65}\right) \quad (5)$$

باید توجه داشت که مطابق رابطه (۳)، چنانچه تخمین HCPR توام با خطا باشد، در این صورت مقدار ECD تخمین زده شده، مطابق شکل (۳) دارای خطا خواهد بود.



شکل ۳. تغییرات HCPR بر حسب ECD در نقطه ۳۰ μs

ضعف این روش این است که نسبت های قله های نیم سیکل (و به طبع آن مقدار محاسبه شده HCPR) به نویز کانال حساس می باشد، که این مطلب خطای تخمین ECD را بسیار زیاد می کند. شکل (۴) تغییرات HCPR را به ازای SNRهای ۵ dB، ۱۰ dB، ۲۰ dB و ۳۰ dB نشان می دهد. مطابق این شکل استفاده از روش HCPR در محیط های نویزی تقریباً امکان پذیر نیست. برای این منظور می توان از روش USCG استفاده نمود.



شکل ۴. تغییرات HCPR در SNRهای ۵ dB تا ۳۰ dB و در حالت بدون نویز

ECD سیگنال دریافتی بستگی به فاصله بین فرستنده لورن C و گیرنده آن دارد. چرا که سرعت انتشار به مشخصه های مسیر بستگی دارد. در مسیر بالای دریا، سرعت انتشار مشخص است. اما در مسیرهای خشکی سرعت انتشار متفاوت است [۷]. همچنین سرعت انتشار امواج به صورت خیلی جزئی با تغییر فرکانس، تغییر می کند. در نتیجه سرعت حرکت حامل (سرعت فاز)، متفاوت با سرعت حرکت پوش است. این مطلب، موجب ایجاد تغییرات در ECD می شود. اگر ضریب انتشار زمین ضعیف باشد، باعث می شود که ECD به شدت افت کند و اگر این افت بیشتر از ۵ میکرو ثانیه باشد، باعث خطای نیم سیکل در گیرنده می شود. دامنه نیز با تغییر فرکانس، تغییر می کند. بنابراین پالس خراب می شود و این بر روی ECD نیز اثر گذار است [۳]، [۸]. برای غلبه بر این مشکلات مقدار ECD در گیرنده بایستی تخمین زده شود.

روش های محاسبه ECD

روش HCPR و روش پالس انتقالی USCG، دو روش متداول برای محاسبه ECD می باشند. روش اول مبتنی بر محاسبه نسبت قله های نیم سیکل است و روش دوم بر اساس کمینه شدن مربعات خطای پالس دریافتی نسبت به پالس ایده آل، طراحی شده است.

روش HCPR

نسبت قله های نیم سیکل در نقاط گذر از دامنه منفی به دامنه مثبت، در پالس لورن C استاندارد (ECD=0) تعریف شده در رابطه (۱) به صورت زیر می باشد [۹]:

$$HCPR := h(t = kT) = \frac{i(t + 2.5)}{i(t - 2.5)}; k = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

به طوری که $T = 10 \mu\text{s}$ دوره تناوب موج حامل است. در عمل مقدار ECD پالس لورن دریافتی، مقدار نامشخص می باشد. بر این اساس مقدار HCPR در رابطه (۲) را می توان به کمک رابطه (۱) بصورت زیر نوشت:

$$h(t = kT) = \left(\frac{t + 2.5 - \hat{t}}{t - 2.5 - \hat{t}} \right)^2 \exp\left(\frac{-10}{65}\right); k = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

به طوری که \hat{t} بر حسب (μs)، ECD پالس لورن C است که بایستی تخمین زده شود. برای این منظور معمولاً از نقطه ۳۰ μs برای تخمین \hat{t} استفاده می شود (به ازای $k = 3$). حال با دریافت یک پالس لورن، مقدار $h_{30} = h(t = 3T = 30 \mu\text{s})$ محاسبه می کنیم. سپس با استفاده از رابطه (۳) می توان مقدار ECD را بصورت زیر تخمین زد:

روش پالس انتقالی USCG

$$\hat{A} = \frac{\sum s_n f_n(\tau)}{\sum f_n^2(\tau)} \quad (13)$$

که در آن:

$$f_n(\tau) = \left(\frac{t_n - \tau}{65}\right)^2 \exp\left[\frac{-2(t_n - \tau)}{65}\right] \sin(0.2\pi n + \varphi_c) \quad (14)$$

$$\frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \tau} = -\frac{2}{65} \left(\frac{t_n - \tau}{65}\right) \exp\left[\frac{-2(t_n - \tau)}{65}\right] \sin(0.2\pi n + \varphi_c) + \frac{2}{65} \left(\frac{t_n - \tau}{65}\right)^2 \exp\left[\frac{-2(t_n - \tau)}{65}\right] \sin(0.2\pi n + \varphi_c) \quad (15)$$

برای به دست آوردن مقدار $\hat{\tau}$ ، باید معادله $A = \hat{A}$ حل شود، به عبارت دیگر، نقطه تلاقی دو منحنی $A = \hat{A}$ مقدار ECD را می دهد. یکی از روش های حل این معادله استفاده از روش های عددی می باشد که زمان بر است. برای حل این مشکل، در ادامه، دو روش تجربی مبتنی بر اندازه گیری و روش گرادیان نزولی پیشنهاد شده است.

روش های پیشنهادی

برای سرعت بخشیدن در محاسبات روش پالس انتقالی USCG، یک روش تجربی پیشنهاد شده و در کنار این روش، روش گرادیان نزولی برای انجام محاسبات به صورت تکرار شونده و هوشمند، پیشنهاد شده است.

رهیافت تجربی برای اندازه گیری ECD در روش پالس انتقالی USCG

همان طوری که گفته شد، نقطه تلاقی دو منحنی $A = \hat{A}$ مقدار ECD را می دهد. برای تلاقی دو منحنی دو رابطه (۱۲) و (۱۳) را مساوی هم قرار می دهیم. در این صورت داریم:

$$\frac{\sum s_n \frac{\partial f_n(\hat{\tau})}{\partial \hat{\tau}}}{\sum f_n(\hat{\tau}) \frac{\partial f_n(\hat{\tau})}{\partial \hat{\tau}}} = \frac{\sum s_n f_n(\tau)}{\sum f_n^2(\tau)} \quad (16)$$

این روش را Freese، برای اندازه گیری ECD در مکان آنتن فرستنده پیشنهاد داده است [۴]. این روش در گیرنده نیز می تواند مورد استفاده قرار بگیرد. این روش بر اساس بهترین اندازه گیری در حداقل مربعات خطای پالس دریافتی نسبت به پالس ایده آل تعریف شده است.

با فرض این که سیگنال دریافتی $s(t)$ و سیگنال ایده آل $i(t)$ باشد، با نمونه برداری به فواصل زمانی T از این سیگنال ها داریم:

$$s_n = s(t)|_{t=nT} = s(t)\delta(t-nT), n=1,2,\dots \quad (6)$$

$$i_n = i(t)|_{t=nT} = i(t)\delta(t-nT), n=1,2,\dots \quad (7)$$

که در آن δ ، تابع دلتای دیراک می باشد. فرمول پالس لورن ایده آل تعریف شده در رابطه (۱) را می توان به صورت زیر بیان نمود.

$$i_n = Af_n(\tau) \quad (8)$$

به عبارت دیگر در سیگنال لورن دریافتی دو پارامتر مجهول A و τ داریم که باید تخمین زده شوند. یک روش برای این تخمین، مبتنی بر حداقل مربعات خطا است. در این صورت، مربعات خطای سیگنال دریافتی نسبت به سیگنال ایده آل به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\phi = \sum_{n=1}^N (J_n)^2; J_n = s_n - i_n, n=1,2,\dots \quad (9)$$

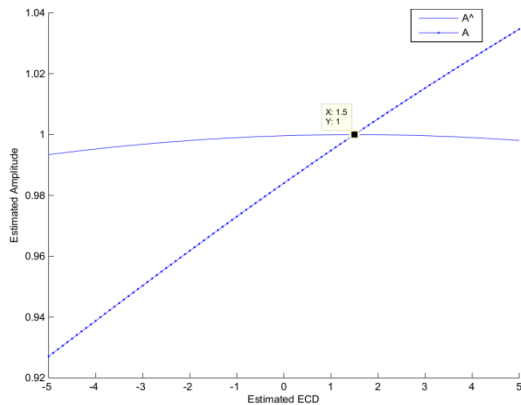
به منظور محاسبه حداقل مربعات خطا داریم:

$$\frac{\partial \phi}{\partial \tau} = \sum_{n=1}^N [s_n - Af_n(\tau)] \left[-\frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \tau} \right] = 0|_{\tau=\hat{\tau}} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial A} = \sum_{n=1}^N [s_n - Af_n(\tau)] [-f_n(\tau)] = 0|_{A=\hat{A}} \quad (11)$$

با حل رابطه (۱۰) و (۱۱) داریم:

$$A = \frac{\sum s_n \frac{\partial f_n(\hat{\tau})}{\partial \hat{\tau}}}{\sum f_n(\hat{\tau}) \frac{\partial f_n(\hat{\tau})}{\partial \hat{\tau}}} \quad (12)$$



شکل ۵. نقطه تلاقی دو منحنی \hat{A} و A برای $ECD = 1.5 \mu s$

روش گرادیان نزولی

روش گرادیان نزولی یک روش کارآمد اما تکرار شونده است که برای شروع به کار به یک مقدار اولیه نیازمند است. این روش همگرایی خوبی در رسیدن به جواب مطلوب داشته و دارای دقت مناسبی نیز است. در این روش بر خلاف روش تجربی، که در بخش قبلی توضیح داده شد، پنجره محاسبات را می توان کوچکتر از ۳۰۰ میکرو ثانیه انتخاب نمود. انتخاب اندازه پنجره محاسبات بستگی به دقت و سرعت محاسبات مورد نظر دارد، به طوری که با افزایش پنجره محاسباتی، دقت محاسباتی افزایش یافته، اما به زمان بیشتری برای همگرایی نیاز دارد. این ویژگی به خصوص در سیگنال به نویزهای پایین نمود بیشتری دارد.

روش گرادیبانی، همانند روش قبلی، بر اساس کمینه نمودن تابع مربع خطا بر اساس رابطه (۹) تعریف می شود. به طوری که در اینجا N طول یک پالس لورن یا طول یک پنجره محاسباتی از ابتدای پالس لورن است که می تواند کمتر از ۳۰۰ میکروثانیه باشد. به منظور دستیابی به جواب با روش حداقل مربعات خطا باید از رابطه (۹) مشتق گرفته شود [۱۰]. با فرض این که مقدار اولیه نقطه τ_0 است، مقدار گرادیان تابع در این نقطه برابر است با:

$$g_1 = \left. \frac{\partial \phi}{\partial \tau} \right|_{\tau_0} = 2 \left[\sum_{n=1}^{N-1} \left(\frac{\partial J_n}{\partial \tau} \right) J_n \right]_{\tau_0} \quad (20)$$

$$g_2 = \left. \frac{\partial \phi}{\partial A} \right|_{A_0} = 2 \left[\sum_{n=1}^{N-1} \left(\frac{\partial J_n}{\partial A} \right) J_n \right]_{A_0} \quad (21)$$

با توجه به شکل (۵) (نمودار \hat{A})، مشاهده می شود که تغییرات دامنه با تغییر τ تقریباً ثابت بوده و بنابراین با توجه به رابطه (۱۱)، تغییرات تابع ϕ نسبت به پارامتر A ، تقریباً ثابت می شود، در نتیجه کافی است تا گرادیان این تابع نسبت به متغیر τ بررسی گردد. این کار به نوبه خود سبب کاهش میزان محاسبات و نیز

و یا به طور معادل داریم:

$$\frac{\sum f_n(\hat{\tau}) \frac{\partial f_n(\hat{\tau})}{\partial \hat{\tau}} \sum s_n f_n(\tau)}{\sum s_n \frac{\partial f_n(\hat{\tau})}{\partial \hat{\tau}} \sum f_n^2(\tau)} = 1 \quad (17)$$

نتایج تجربی نشان می دهد که نقطه تلاقی دو منحنی در نقطه ای نزدیک به نقطه بحرانی (اکسترمم) رابطه (۱۳) قرار دارد. بنابراین با مشتق گیری از معادله (۱۳) داریم:

$$\frac{\sum s_n \frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \tau} * \sum f_n^2(\tau) - 2 * \sum s_n f_n(\tau) \sum f_n(\tau) \frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \tau}}{(\sum f_n^2(\tau))^2} = 1 \quad (18)$$

که جواب آن برابر است با:

$$\frac{\sum f_n(\tau) \frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \tau} \sum s_n f_n(\tau)}{\sum s_n \frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \hat{\tau}} \sum f_n^2(\tau)} = \frac{1}{2} \quad (19)$$

به منظور بررسی دقت روش تجربی پیشنهادی، مشاهده می شود که معادله (۱۷) با معادله (۱۹) مساوی نیست. اما نتایج تجربی نشان می دهد که اگر $300 \mu s$ اول پالس را در نظر بگیریم، نقطه بحرانی در معادله (۱۳)، بسیار نزدیک به تلاقی دو منحنی می باشد. لذا با تقریب قابل قبولی می توان گفت که نقطه بحرانی در معادله (۱۳) همان مقدار تقریبی ECD است. به این ترتیب با حذف نمودار به دست آمده از رابطه (۱۲) $(\frac{\partial \phi}{\partial \tau})$ ، حل مساله از حالت دو بعدی، به حالت یک بعدی (محاسبه تنها $\frac{\partial \phi}{\partial A}$) کاهش می یابد.

نکته قابل توجه در استفاده از این روش این است که بایستی از همه بازه زمانی یک پالس لورن (از صفر تا ۳۰۰ میکرو ثانیه) استفاده نمود و اگر از بازه های کمتری از پالس استفاده شود، جواب نادرستی به دست می آید.

شکل (۴)، محل تلاقی دو منحنی A و \hat{A} را هنگامی که از بازه $300 \mu s$ اول پالس استفاده شده است را نشان می دهد. در این شکل، ECD سیگنال ارسالی برابر ۱.۵ است. در این شکل مشاهده می شود که نقطه اکسترمم منحنی معادله (۱۳) بسیار نزدیک به محل تلاقی دو منحنی (۱۲) و (۱۳) است. بنابراین به عنوان یک روش تجربی، می توان بجای حل معادله (۱۶)، از روش بسیار ساده تر اکسترمم گیری از رابطه (۱۳) استفاده نمود.

به طور خلاصه روش گرادییانی پیشنهادی را می توان بصورت زیر در نظر گرفت:

۱. نقطه τ_0 را به عنوان حدس اولیه در نظر گرفته و $\frac{\partial J_n}{\partial \tau}$ را به ازای $n = 1, 2, \dots, N-1$ محاسبه کنید $(\frac{\partial J_n}{\partial \tau} = -A \frac{\partial f_n(\tau)}{\partial \tau})$.

۲. گرادیان g را در نقطه τ_0 با استفاده از رابطه (۲۰) به دست بیاورید.

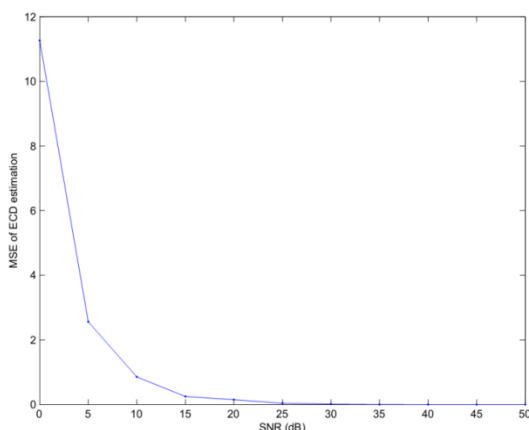
۳. مقدار λ را با استفاده از رابطه (۲۵) محاسبه کنید.

۴. مقدار جدید τ_1 را با استفاده از رابطه (۲۲) به دست بیاورید.

۵. اگر ϕ از مقدار آستانه انتخابی کوچکتر شد و تعداد تکرارها از یک مقدار پیش فرض بیشتر بود، پایان و اگر نه، τ_1 به عنوان حدس اولیه در نظر گرفته و مراحل ۲ تا ۵ را تکرار کنید.

نتایج و شبیه سازی

نتایج شبیه سازی شده میانگین مربعات خطا در تخمین ECD، برای SNR های مختلف کانال AWGN، در شکل (۶) نشان داده شده است. تعداد تکرارها در این شکل ۳ می باشد. مقدار ECD پالس اصلی ۱ میکرو ثانیه می باشد.



شکل ۶. میانگین مربعات خطا در تخمین ECD برای SNR های مختلف با استفاده از روش گرادیان نزولی برای تعداد تکرار ۳

در این روش طول پنجره محاسباتی را می توان کوچکتر در نظر گرفت و به این ترتیب حجم محاسبات را کمتر نمود. شکل (۷)، مقدار میانگین مربعات خطا برای طول پنجره گذاری مختلف برای SNR های ۱۰ dB، ۲۰ dB و ۳۰ dB را نشان می دهد.

تعداد تکرارها می گردد که در صورت وجود نویز، کاهش تعداد تکرارها، با این ساده سازی چشمگیر است، به طوری که تعداد تکرارها در حدود ۱۰۰۰ برابر کاهش می یابد. بنابراین با شروع از نقطه τ_0 ، نقطه جدید τ_1 به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\tau_1 = \tau_0 - \lambda g; g = g_1 \quad (22)$$

به طوری که λ میزان پرش برای هر مرحله است. انتخاب این مقدار یکی از پارامترهای مهم روش های گرادییانی می باشد، به طوری که دقت و سرعت همگرایی الگوریتم تا اندازه زیادی وابسته به این پارامتر است. انتخاب مقدار مناسب برای λ می تواند به گونه ای باشد که $\phi(\tau_1)$ کمترین مقدار را داشته باشد [۱۹]. یعنی:

$$\begin{aligned} \min_{\tau_1} \phi(\tau_1) &= \min_{\lambda} \{\phi(\tau_0 - \lambda g)\} \\ &= \min_{\lambda} \left\{ \sum_{n=1}^{N-1} [J_n \phi(\tau_0 - \lambda g)]^2 \right\} \end{aligned} \quad (23)$$

در این حالت فرض می شود که مقدار τ_0 و g در تابع $\phi(\tau_1)$ ثابت هستند و مقدار مناسب برای λ مجهول است. یافتن مقدار مناسب λ بر اساس رابطه غیر خطی (۲۳) مشکل می باشد. برای این منظور تابع $\phi(\tau_1)$ در نقطه τ_0 بسط داده می شود (بسط سری تیلور) [۱۱]. برای سادگی حل مساله، از توان های بالا صرف نظر نموده و فقط ضرایب مرتبه صفر و یک در بسط تیلور را انتخاب می کنیم. در این صورت مقدار تقریبی برای تابع $\phi(\tau_1)$ به صورت زیر به دست می آید:

$$\phi(\tau_1) \approx \left\{ \sum_{n=1}^{N-1} J_n^2 - 2\lambda \left[\sum_{n=1}^{N-1} J_n \left(g \frac{\partial J_n}{\partial \tau} \right) \right] + \lambda^2 \left[\sum_{n=1}^{N-1} \left(g \frac{\partial J_n}{\partial \tau} \right)^2 \right] \right\}_{\tau_0} \quad (24)$$

به منظور یافتن حداقل مقدار، مشتق تابع ϕ بر حسب λ را مساوی صفر قرار دهیم، در این صورت داریم:

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda} = 0 \rightarrow \hat{\lambda} = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} J_n \left(g \frac{\partial J_n}{\partial \tau} \right)}{\sum_{n=1}^{N-1} \left(g \frac{\partial J_n}{\partial \tau} \right)^2} \Bigg|_{\tau_0} \quad (25)$$

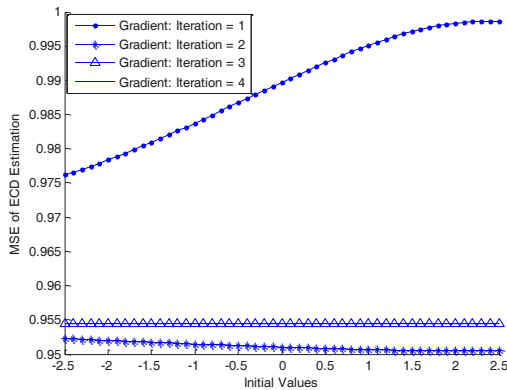
با محاسبه $\hat{\lambda}$ ، مقدار جدید τ_1 نیز به دست می آید. روش بالا به صورت تکرار شونده اجرا می شود تا جایی که مقدار تابع ϕ از یک مقدار آستانه مشخصی کوچکتر شود، یعنی مقدار $\phi \approx 0$ قابل قبول باشد.

روش HCPR مخصوص تشخیص سومین نقطه عبور از صفر [۹]، [۱۳].

شکل (۹) نشان می دهد که انتخاب مقدار اولیه در زمانی که تعداد تکرارها کم است، بر روی میزان خطا موثر است. اما زمانی که تعداد تکرارها بیشتر می شود، مقدار این تاثیر کم تر است. (این شکل برای $SNR = 10$ dB رسم شده است و همچنین مقدار ECD پالس اصلی صفر می باشد).

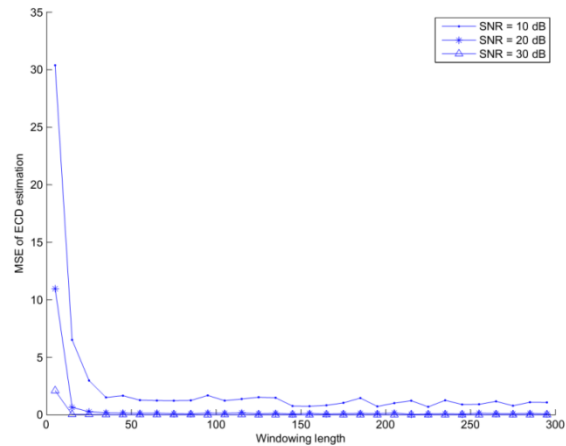
در این الگوریتم میزان پرش در هر مرحله به صورت وقفی، محاسبه می شود و میزان پرش در هر مرحله عدد نسبتا بزرگی است. به همین دلیل در تکرارهای پایین، با نزدیک شدن مقدار اولیه به جواب مورد نظر از میزان خطا کاسته نمی شود.

وابستگی کم این الگوریتم به انتخاب تعداد تکرارها و انتخاب مقدار اولیه برای ECD، از جمله نقاط قوت این الگوریتم محسوب می شود.



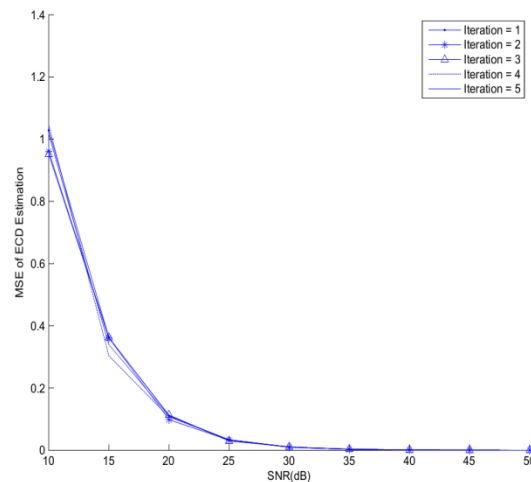
شکل ۹. تاثیر انتخاب مقدار اولیه بر روی میانگین مربعات خطای تخمین پالس ارسالی برای $ECD = 0$ و $SNR = 10$ dB

شکل (۱۰)، روش گرادیان نزولی، روش تجربی پالس انتقالی USCG و روش HCPR را در تخمین ECD، برای SNR های مختلف با یکدیگر مقایسه می کند. در این شکل ECD پالس اصلی ۱ است و مدل کانال AWGN در نظر گرفته شده است. همان طوری که در این شکل ملاحظه می کنید، در محیط های نویزی، دقت تخمین در روش HCPR خوب نیست. روش گرادیان نزولی و روش تجربی پالس انتقالی USCG، تقریبا جواب یکسانی دارند، اما در SNR های خیلی پایین روش تجربی پالس انتقالی USCG اندکی بهتر است و این بدان علت است که در این روش تغییرات دامنه نیز در طراحی در نظر گرفته شده است، اما در روش گرادیان نزولی برای کاهش محاسبات از این تغییرات صرف نظر شده است، به این علت که تاثیر بسیار ناچیزی در دقت تخمین دارد. حسن روش گرادیان نزولی در این است که می توان پنجره محاسبات را کوچکتر نمود و سرعت محاسبات را افزایش داد، به طوری که اگر



شکل ۷. میانگین مربعات خطای تخمین ECD برای SNR های مختلف با طول پنجره گذاری متفاوت

شکل (۸)، میانگین مربعات خطا، برای تعداد تکرارهای مختلف را، بر حسب SNR نشان می دهد. همان طوری که در این شکل مشاهده می شود، افزایش تعداد تکرارها تاثیر چندانی در دقت تخمین ندارد. بنابراین پیشنهاد می شود که تعداد تکرارها، بسته به شرایط نویز، به صورت تجربی تعیین شود تا کمترین خطا به دست آید.



شکل ۸. میانگین مربعات خطای تخمین ECD برای SNR های مختلف با تعداد تکرارهای متفاوت

مقدار اولیه برای ECD تخمینی، بایستی در بازه -2.5 تا $+2.5$ انتخاب شود. چون همان طوری که قبلا به آن اشاره شد، ECD بیشتر از این مقدار اساسا باعث خطای نیم سیکل می شود و قابل محاسبه با استفاده از روش های تخمین ECD نیست و برای محاسبه این خطا بایستی به دنبال راه حل های دیگری به غیر از تخمین ECD نمود. مثلا روش هایی که برای تشخیص سومین نقطه عبور از صفر وجود دارد، از جمله روش همبستگی [۱۲] و یا

نتیجه گیری

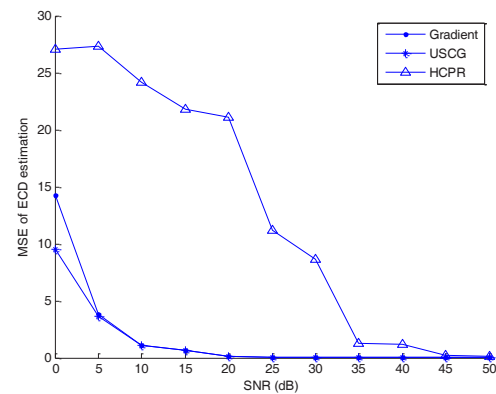
در تکنیک هایی نظیر HCPR که بر اساس مطابقت دادن معادله پالس های دریافتی طراحی شده اند و همچنین به علت به کارگیری قله های ابتدایی پالس که ممکن است به شدت تضعیف شده باشند، تخمین ECD بسیار مشکل است. لذا تکنیک روش پالس انتقالی USCG پیشنهاد شده است. با وجود سادگی این روش، به منظور رسیدن به جواب مطلوب به حجم محاسباتی زیادی نیاز دارد. برای کاهش حجم محاسبات این روش، روش تجربی پالس انتقالی USCG و روش گرادیان نزولی پیشنهاد شده است که عملکرد بهتری دارند. در هر دو روش پیشنهادی، بجای استفاده از دو رابطه برای رسیدن به جواب، از یک رابطه استفاده می شود و حل مساله از حالت دو بعدی به حالت یک بعدی کاهش می یابد و به تبع آن حجم محاسبات کاهش پیدا می کند. در این دو روش، میزان خطای MSE، در SNRهای عملی (زیر ۳۰dB)، حدود ۴۰ درصد نسبت به روش HCPR بهبود دارد. در روش گرادیان نزولی، دقت تخمین به صورت جزئی، از روش تجربی پالس انتقالی USCG کمتر است، اما در عوض حجم محاسبات با استفاده از روش گرادیانی نسبت به حجم محاسبات لازم برای به دست آوردن اکثر مقادیر، در روش تجربی پالس انتقالی USCG کمتر می باشد. حسن دیگر استفاده از روش گرادیان نزولی در این است که می توان پنجره محاسبات را کمتر از ۳۰۰ میکرو ثانیه در نظر گرفت و به صورت مضاعفی بار محاسباتی را کاهش داد.

مرجع ها

- [1] David L. Mills, "Consideration in loran-C/D receiver design," The University of Michigan, Department of Electrical Engineering, October, 1964.
- [2] John D. Wood, "MIMO Recursive Least Squares Control Algorithm for the AN/FPN- 44A Loran-C Transmitter," MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL ENGINEERING, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, September 1993.
- [3] P. Williams and D. Last, "Modelling Loran-C envelope-to-cycle differences in mountainous terrain," 32nd Annual ILA Convention and Technical Symposium, 2003.
- [4] D.H, Freese, "Transmitted Envelope to Cycle Difference (ECD)," Definition and Control, United States Coast Guard, EE Cen, 1978.
- [5] C.O. Lee Boyce Jr., Sherman C. Lo, J. David Powell, Per K., "Analysis of Noise and Cycle Selection in a Loran Receiver," Proceedings of the 35th Annual Convention and Technical Symposium of the International Loran Association, October, 2006.
- [6] Jahshan A. Bhatti, Todd E. Humphreys, "Development and Demonstration of a TDOA-Based GNSS Interference Signal Localization System," IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2012.

طول پنجره از حدود $50 \mu s$ کمتر نباشد، تاثیر چندانی بر میانگین مربعات خطا نخواهد داشت، اما در روش تجربی پالس انتقالی، بایستی کل پنجره $300 \mu s$ را در نظر گرفت. در جدول (۱)، مقایسه ای از مقادیر کمی روش های مختلف، بر اساس میانگین مربعات خطا آورده شده است.

به لحاظ حجم محاسباتی، روش HCPR بسیار کمتر از دو روش گرادیانی و روش پالس انتقالی USCG است، اما میزان خطا در این روش بسیار بزرگ است. حجم محاسباتی در دو روش گرادیانی و روش پالس انتقالی USCG، به تعداد نمونه های پالس، و نیز تعداد تکرار ها وابسته است. در روش گرادیانی تعداد تکرارها و همچنین تعداد نمونه های پالس بسیار کمتر از روش پالس انتقالی USCG است. (تعداد تکرار مثلا ۳ و تعداد نمونه های پالس مثلا ۶۵ میکرو ثانیه اول پالس). در روش پالس انتقالی USCG از کل ۳۰۰ میکروثانیه پالس استفاده می شود و لذا حجم محاسبات در روش گرادیانی کمتر از روش پالس انتقالی USCG است.



شکل ۱۰. مقایسه روش های مختلف تخمین ECD بر حسب میانگین مربعات خطا برای SNR های مختلف

جدول ۱. مقایسه کمی روش های مختلف تخمین ECD، بر حسب میانگین مربعات خطا و برای SNR های مختلف

Gradient	USCG	HCPR	SNR (dB)
۱۴,۲۳۹۷	۹,۵۴۴۸	۲۷,۰۲۵۳	۰
۳,۸۴۰۸	۳,۶۳۶۰	۲۷,۳۳۳۳	۵
۱,۰۹۶۶	۱,۰۹۶۴	۲۴,۱۸۱۳	۱۰
۰,۶۵۰۷	۰,۶۵۱۳	۲۱,۸۲۷۷	۱۵
۰,۱۲۹۴	۰,۱۲۹۸	۲۱,۱۲۷۱	۲۰
۰,۰۲۷۸	۰,۰۲۷۷	۱۱,۲۲۷۵	۲۵

- [7] S. Lo, et al., "The Loran Integrity Performance Panel," Proceedings of the 31st Annual International Loran Association Meeting, Oct. 2002.
- [8] H.T. Sherman, "Finally— A Practical ECD Estimating Technique," Proceedings of the 13th Annual WGA Technical Symposium. Boston, MA, October 1984.
- [9] A.J. Fisher, "Loran-C cycle identification in hard-limiting receivers," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 36, no. 1, Jan. 2000.
- [10] Guowei Lingwen ZHANG, Zhenhui TAN, "A new TDOA algorithm based on Taylor series expansion in cellular networks," Front. Electr. Electron. Eng. China. pp. 40–43, 2008.
- [11] Thomas J. Osler, "Taylor's Series Generalized for Fractional Derivative and Applications," SIAM J. Math. Anal. Vol. 2. No. 1, pp. 37-48, February 1971.
- [12] Ryan J. R. Thompson, Ediz Cetin, Andrew G. Dempster, "Influence of GPS Satellites Cross-Correlation on the TDOA Measurements within the GNSS Environmental Monitoring System (GEMS)," International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium, 2011.
- [13] Safar, Jan, "Analysis, Modelling and Mitigation of Cross-Rate Interference in Enhanced Loran", Doctoral Thesis, Czech Technical University in Prague, August 2014.

